Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 4, Winter. 2020, p. 617-629

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸، ص. ۶۲۹-۶۱۷

بررسی اثر کلرید کلسیم و سلنیوم بر مقاومت به دمای بالا در گندم (.*Triticum aestivum* L)

حسین نوروزی[1]، مجید نبی پور[2*]، افراسیاب راهنما قهفرخی[3]، حبیب اله روشنفکر[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۱۰

چکیده

جهت بررسی چگونگی اثر برخی ترکیبات شیمیایی ازجمله کلسیم و سلنیوم بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گندم در ایجاد مقاومت در مقابل افزایش دمای محیط، آزمایشی در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ اجرا شد. این آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه آزمایشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. در این آزمایش سه عامل مورد بررسی قرارگرفت. عامل اول (کرت‌های اصلی): سه تاریخ کاشت شامل (۲۰ آبان به‌عنوان تاریخ کاشت معمول، ۲۰ آذر و ۲۰ دی)، عامل دوم (کرت‌های فرعی): محلول‌پاشی ترکیبات شیمیایی مختلف شامل ۱) آب شهری (شاهد)، ۲) کلرید کلسیم (۱۰ میلی‌مولار) ۳) سلنیوم (۴ میلی‌گرم در لیتر) و عامل سوم (کرت‌های فرعی): ارقام مختلف گندم شامل (چمران و استار) بود. با توجه به نتایج به‌دست آمده، در زمان استفاده از کلرید کلسیم برای محلول‌پاشی، در تاریخ کشت سوم تعداد دانه در سنبله نسبت به تاریخ کاشت ۲۰ آبان فقط ۱۲ درصد کاهش پیدا کرد در حالی‌که در تیمارهای شاهد و سلنیوم تعداد دانه در سنبله ۳۶ درصد کاهش یافت. در تاریخ کاشت سوم، عملکرد دانه در تیمار شاهد ۴۹/۳ درصد و در تیمار سلنیوم ۴۹/۹ درصد نسبت به تاریخ کاشت اول کاهش نشان داد در حالی‌که در تیمار کلرید کلسیم کاهش عملکرد ۲۳/۸ درصد بود. در هر سه تاریخ کاشت، در زمانی‌که از کلرید کلسیم به‌عنوان محلول‌پاشی استفاده شد دوره پر شدن دانه نسبت به تیمارهای شاهد و سلنیوم طولانی‌تر بود. طولانی شدن دوره پر شدن دانه در زمان استفاده از کلرید کلسیم می‌تواند یکی از مهم‌ترین عواملی باشد که منجر به کاهش کمتر وزن هزار دانه و عملکرد دانه نسبت به بقیه تیمارها شده است. چون در این شرایط زمان کافی برای انجام فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد به دانه‌های در حال پر شدن وجود دارد. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که محلول‌پاشی کلرید کلسیم می‌تواند از طریق کاهش اثرات منفی تنش گرما در زمان گرده‌افشانی، افزایش دوره پر شدن دانه و وزن هزاردانه نقش مهمی در کاهش اثرات تنش گرمای آخر فصل در گندم داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: تاریخ کاشت، تعداد دانه در سنبله، سلنیوم، عملکرد دانه، کلرید کلسیم

مقدمه

گندم (.*Triticum aestivum* L) یکی از گیاهان مهم خانواده غلات می‌باشد که بیش از ۳۰ درصد سطح زیرکشت و نزدیک به ۲۶ درصد از کل غلات جهان را به‌خود اختصاص داده است (FAO, 2017). افزایش درجه حرارت در زمان گلدهی و پرشدن دانه در نواحی خشک و نیمه‌خشک دنیا شدیداً بر تولید گندم تأثیر می‌گذارد (Brestic *et al*., 2014). کشت دیر هنگام گندم باعث می‌شود دوره پر شدن دانه در معرض درجه حرارت بالا قرار گیرد (Pandey *et al*., 2014). گیاهان در تمام طول دوران زندگی خود با انواع مختلفی از تنش‌های زیستی و غیر زیستی مواجه می‌شوند. مرحله گلدهی و پر شدن دانه از حساس‌ترین مراحل نموی گندم به تنش‌ها است (Abdoli *et al*., 2013). درجه حرارت بهینه مورد نیاز برای گلدهی و پر شدن دانه در گندم بین ۱۲ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. درجه حرارت بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد دوره پرشدن دانه در گندم را کاهش و سرعت پرشدن دانه را افزایش می‌دهد (Dupont and Altenbach, 2003). بنابراین یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار در گیاهانی که به‌موقع کشت می‌شوند طویل شدن مرحله رویشی آن‌ها می‌باشد چون این گیاهان زمان کافی برای افزایش ارتفاع و ذخیره مواد غذایی را دارند (Mondal *et al*., 2016). تنش گرما تولید نشاسته را کاهش داده و باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود (Farooq *et al*., 2011). بیشترین آسیب وارده ناشی از تنش گرما در مرحله زایشی به‌صورت کاهش تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه می‌باشد (Rahman *et al*., 2009). در اقلیم‌های گرمسیری، تنش دمای بالا مهمترین عامل محدودکننده و مؤثر بر رشد گیاه است. در غلات هنگامی که گیاه برای دوره کوتاهی در طول دوره پرشدن دانه در معرض دمای بالا قرار می‌گیرد، پیری تسریع شده، تشکیل میوه کاهش می‌یابد و وزن دانه و عملکرد نیز کاهش می‌یابد (Wahid *et al*., 2007). سلنیوم به دلیل ویژگی‌های آنتی‌اکسیدان آن به‌ویژه در محیط‌های تحت تنش اثرات مثبتی بر رشد و توسعه گیاهان دارد (Nawaz *et al*., 2015). کاربرد سلنیوم بیوماس گیاهان را هم در شرایط تنش و هم غیر تنش بهبود بخشید (Malik *et al*., 2011).

۱- دانشجوی دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید چمران اهواز
(*- نویسنده مسئول: Email: m.nabipour@scu.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v17i4.79483

کاربرد سلنیوم به‌وسیله افزایش آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی (Saidi *et al*., 2014) و غیرآنزیمی (Pandey *et al*., 2014) باعث کاهش خسارت گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر شد. محلول‌پاشی سلنیوم بر روی برگ گیاهان زراعی میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را افزایش داده و مقاومت به خشکی را بالا می‌برد (Dhillon, 2002). محمد و همکاران (Muhammad *et al*., 2015) گزارش دادند محلول‌پاشی چهار میلی‌گرم در لیتر سلنیوم در دو رقم گندم تحت تنش گرما تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه را به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. نتایج برخی پژوهش‌های دیگر توسط تیموتی (Timothy, 2001) نشان می‌دهد که تیمار گیاه با سلنیوم می‌تواند مقاومت گیاه به خشکی را افزایش دهد به‌طوری‌که این افزایش مقاومت می‌تواند به‌دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان باشد. در گیاهان مختلف اثر کلرید کلسیم در کاهش اثرات مضر تنش‌های محیطی مختلف گزارش شده است (Shoresh *et al*., 2011). در مطالعه‌ای که توسط هیرات و خورانا (Hairat and Khurana, 2015) بر روی ارقام مختلف گندم انجام شده بود مشخص گردید با کاربرد کلرید کلسیم وزن هزار دانه و عملکرد دانه به‌طور قابل‌توجهی افزایش پیدا کرده بودند. آن‌ها گزارش دادند که افزایش عملکرد در گیاهان تیمار شده با کلرید کلسیم می‌تواند به‌دلیل فعالیت فتوسنتزی بهتر در این شرایط باشد. مصرف کلسیم تحت تنش خشکی می‌تواند رسیدگی گندم را به‌طور معنی‌داری به تأخیر بیندازد. همچنین مصرف کلسیم نه تنها تحمل گندم بهاره به تنش خشکی را افزایش می‌دهد بلکه پیری برگ‌ها را به تأخیر می‌اندازد (Ma *et al*., 2005). در برخی از گراس‌های مناطق سرد تحت تنش گرما، کلسیم برای نگهداری فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها ضروری است. کاربرد خارجی کلسیم مقاومت به تنش گرما را افزایش می‌دهد. کاربرد کلسیم به شکل $CaCl_2$ قبل از تیمار تنش گرما موجب افزایش تولید مواد ممانعت‌کننده پراکسیداسیون لیپیدها می‌شود (Wahid *et al*., 2007). کلسیم در بهبود گلدهی، بلوغ و انتقال کربوهیدرات‌ها از برگ‌ها به اندام‌های زایشی نقش دارد (Marschner, 1995). کلسیم کوعامل آنزیم‌های آمیلاز و ATP-ase بوده و در پایداری و مقاومت دیواره سلولی و فعالیت طبیعی بسته شدن روزنه‌ها مؤثر است. این عنصر به فعالیت اکسین کمک کرده و در تقسیم سلولی و طویل شدن سلول‌ها، جوانه‌زنی و رشد لوله گرده تأثیرگذار است (Fageria, 2009). اگرچه نقش کلسیم در تحمل به تنش گرما دقیقاً مشخص نشده است، ولی برخی مطالعات بیان می‌کنند که کلسیم ممکن است در انتقال پیام (MCAinsh *et al*.,1996) و بیان ژن (Trofimova *et al*., 1999) تحت تنش گرما دخیل باشد. دیگر محققین دریافتند که کلسیم فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را افزایش داده و پراکسیداسیون لیپیدهای غشاءهای سلولی را کاهش می‌دهد (Gong *et al*.,1998). مقدار سرانه‌ی مصرف گندم در ایران بالغ بر ۱۲۱ کیلوگرم در سال است که این میزان مصرف، ایران را در جایگاه ششم قرار می‌دهد (Mosavi, 2014). بنابراین با توجه به اهمیت استراتژیک گندم و همچنین برخورداری این محصول از وزن قابل‌توجه در الگوی مصرف خانوارها، به‌ویژه در کشورهای در حال‌توسعه، دستیابی به حدودی از خودکفایی در تولید گندم برای کشور ما مستلزم استفاده از روش‌های نوین جهت کاهش اثرات تنش‌های محیطی جهت دستیابی به حداکثر محصول می‌باشد. با توجه به حساسیت گندم به گرمای بعد از گلدهی و وجود این وضعیت در نیمه جنوبی به‌ویژه در استان خوزستان، این پژوهش با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی ترکیبات شیمیایی مختلف بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد در دو رقم گندم جهت بهبود مقاومت به گرمای انتهای فصل اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش طی سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶، به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه آزمایشی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. در این آزمایش سه عامل مورد بررسی قرارگرفت. عامل اول (کرت‌های اصلی): سه تاریخ کاشت شامل: ۱) ۲۰ آبان (تایخ کاشت اول) به‌عنوان تاریخ کاشت معمول منطقه، ۲) ۲۰ آذر (تاریخ کاشت دوم) و ۳) ۲۰ دی (تاریخ کاشت سوم)، عامل دوم (کرت‌های فرعی): محلول‌پاشی ترکیبات شیمیایی مختلف شامل: ۱) آب شهری (شاهد)، ۲) ۱۰ میلی‌مولار کلرید کلسیم (Asadi Nasab *et al*., 2019) و ۳) ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم (Muhammad *et al*., 2015) و عامل سوم (کرت‌های فرعی): ارقام مختلف گندم شامل: ۱) چمران (متوسطرس) و ۲) استار (دیررس). در این آزمایش طول هر کرت آزمایشی یک متر و عرض آن دو متر در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت‌های آزمایش ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین تکرارها یک متر بود برای هر کرت آزمایشی ۱۰ خط کاشت ۱ متری با فاصله ۲۰ سانتی‌متر از هم در نظر گرفته شد و سپس ۵۰۰ بذر ضدعفونی شده با سم ویتاواکس در یک متر مربع به‌صورت دستی کاشته شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر خاک تعیین و در جدول ۱ ارائه شده است. مقدار کود مصرفی براساس نتایج آزمون خاک قبل از کاشت، ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌صورت اوره، ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار فسفر به‌صورت سوپرفسفات تریپل و ۷۵ کیلوگرم در هکتار پتاسیم به‌صورت سولفات پتاسیم بود. در هریک از مراحل نموی انتهای پنجه‌زنی و آبستنی نیز ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌صورت اوره به‌عنوان کود سرک مصرف شد. در طول دوره رشد، آبیاری کرت‌ها به‌طور منظم و به نحوی انجام شد که گیاه با تنش کم‌آبی مواجه نشود. کاربرد ترکیبات شیمیایی دو هفته قبل از گلدهی (Asadi Nasab *et al*., 2019) به‌صورت محلول‌پاشی برگی

اعمال شد. برای تشخیص و ثبت مراحل فنولوژیک گیاه به‌خصوص برای تعیین زمان دو هفته قبل از گلدهی جهت اعمال محلول‌پاشی از سیستم کد بندیزیداکس (Zadoks *et al.*, 1974) استفاده شد. محلول‌پاشی‌ها در ساعت هشت صبح و در هوای صاف و ملایم طوری که برگ‌های گیاه کاملاً خیس شدند، انجام شد. در این آزمایش ویژگی‌هایی مانند عملکرد بیولوژیک، اجزای عملکرد شامل: تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه، تعداد سنبلچه در سنبله، شاخص برداشت، دوره پر شدن دانه، تعداد روز از کاشت تا ظهور سنبله و تعداد روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری وزن هزار دانه از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ استفاده شد. برای بررسی صفاتی مانند تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله، و وزن کاه از هر کرت ۲۰ ساقه به‌صورت تصادفی انتخاب و سپس اندازه‌گیری‌ها صورت گرفت. در حالی‌که برای بررسی تعداد سنبله و عملکرد نهایی اندازه‌گیری‌ها در یک مترمربع از هر کرت آزمایشی انجام گردید. در این پژوهش فاصله بین گرده‌افشانی تا رسیدن فیزیولوژیکی به‌عنوان دوره پر شدن دانه در نظر گرفته شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام و شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of soil

پتاسیم K ($mg.kg^{-1}$)	فسفر P ($mg.kg^{-1}$)	درصد ماده آلی Organic matter (%)	نیتروژن N (%)	pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)
270.3	12.46	0.49	0.3	7.52	1.5

جدول ۲- میانگین درجه حرارت حداکثر، حداقل و رطوبت نسبی ماهیانه در دوره رشد گندم در اهواز

Table 2- Monthly maximum, minimum temperature and relative humidity for wheat growth duration in Ahwaz

Month	ماه	حداقل دما Minimum temperature (°C)		حداکثر دما Maximum temperature (°C)		میانگین رطوبت نسبی Relative humidity (%)	
		سال ۹۷-۱۳۹۶	میانگین ده سال قبل	سال ۹۷-۱۳۹۶	میانگین ده سال قبل	سال ۹۷-۱۳۹۶	میانگین ده سال قبل
Nov.	آبان	16.8	16.24	33.21	31	46.4	48.45
Dec.	آذر	9.62	10.1	23.6	23	56.7	60.3
Jan.	دی	9.88	8	21.7	20.1	51.6	64.73
Feb.	بهمن	10.36	9.47	24.2	21.98	51.6	59.01
Mar.	اسفند	15.1	13	28.6	27	51	48.86
Apr.	فروردین	18.4	17.18	34	32.4	43.3	44.1
May	اردیبهشت	23.3	23.13	37.5	40	37.2	32.8

نتایج و بحث

تعداد دانه در سنبله

طبق نتایج به‌دست آمده از این آزمایش بین ارقام مورد بررسی، تیمارهای محلول‌پاشی و تاریخ کاشت از نظر تعداد دانه در سنبله اختلاف معنی‌دار وجود داشت ($P\leq0.01$). همچنین برهمکنش تاریخ کاشت و محلول‌پاشی بر صفت تعداد دانه در سنبله از لحاظ آماری معنی‌دار بود و واکنش متفاوت ارقام در تیمارهای مختلف محلول‌پاشی موجب شد که برهمکنش رقم و محلول‌پاشی برای تعداد دانه در سنبله در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار گردد (جدول ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین در تاریخ کاشت اول بین تیمارهای مختلف محلول‌پاشی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ولی در دو تاریخ کاشت دیگر (دوم و سوم) بین تیمار کلسیم و تیمارهای شاهد و سلنیوم از لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار بود در حالی‌که بین تیمارهای شاهد و محلول‌پاشی سلنیوم اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. در تاریخ کاشت سوم، بیشترین (۳۶) و کمترین (۲۵) تعداد دانه در سنبله به‌ترتیب در تیمارهای محلول‌پاشی با کلریدکلسیم و شاهد به‌دست آمد. در بررسی برهمکنش رقم و محلول‌پاشی، در زمان استفاده از تیمارهای شاهد و سلنیوم به‌عنوان محلول‌پاشی بین دو رقم اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ولی در زمان استفاده از کلریدکلسیم برای محلول‌پاشی بین دو رقم اختلاف معنی‌دار بود. بیشترین (۴۰) و کمترین (۳۲) تعداد دانه در سنبله به‌ترتیب در تیمارهای رقم چمران و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم و ارقام چمران و استار در زمانی که از تیمارهای شاهد و سلنیوم برای محلول‌پاشی استفاده شد، به‌دست آمد. تعداد دانه در

سنبله یکی از اجزای بسیار مهم در ارتباط با عملکرد می‌باشد (شکل ۱).

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس صفت وزن هزار دانه نشان داد که اثر تاریخ کاشت، محلول‌پاشی، رقم و برهمکنش تاریخ کاشت و محلول‌پاشی در سطح احتمال (P≤۰/۰۱) و برهمکنش محلول‌پاشی و رقم در سطح احتمال (P≤۰/۰۵) معنی‌دار بود (جدول ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تاریخ کاشت و محلول‌پاشی مشخص شد که در تاریخ کاشت اول بین تیمار کلرید کلسیم و تیمارهای شاهد و سلنیوم از لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار وجود داشت در حالی‌که بین تیمارهای شاهد و سلنیوم در این تاریخ کاشت تفاوت معنی‌داری دیده نشد. در تاریخ کاشت‌های اول و دوم بین تیمارهای کلسیم اختلافی وجود نداشت و همچنین در این دو تاریخ کاشت بین تیمارهای شاهد سلنیوم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در تاریخ کاشت سوم، بیشترین (۳۷ گرم) و کمترین (۲۹ گرم) وزن هزار دانه به‌ترتیب در تیمارکلرید کلسیم و تیمارهای شاهد و سلنیوم به‌دست آمد (شکل ۲).

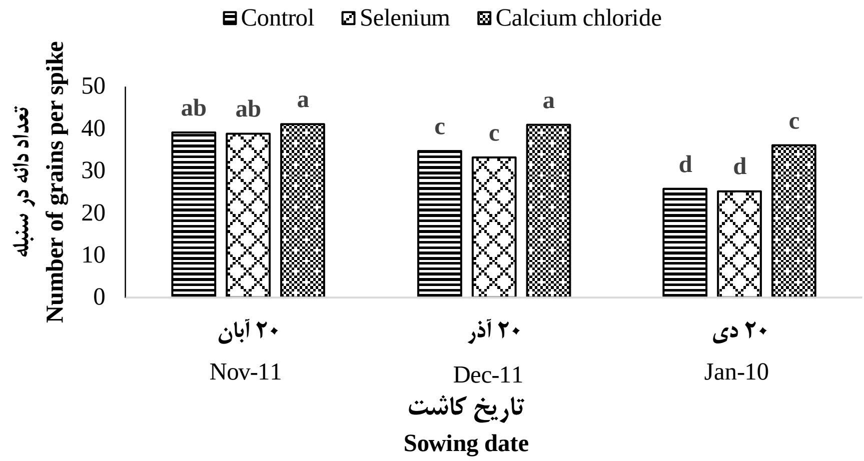
جدول ۳- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده

Table 3- Analysis of variance of measured traits

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	**Mean squares میانگین مربعات**							
		تعداد سنبله در مترمربع Number of spikes per m^2	**تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike**	**وزن هزاردانه 1000-grain weight**	**تعداد سنبلچه در سنبله Number of spikelets per spike**	**عملکرد دانه Grain yield**	**طول دوره پر شدن دانه Grain filling duration**	**عملکرد بیولوژیک Biological yield**	**شاخص برداشت Harvest index**
تکرار Replication	2	382.46^{ns}	8.13^{ns}	14.68^{ns}	0.52^{ns}	0.44^{ns}	16.3^{ns}	13.74^{ns}	35.57^{ns}
تاریخ کاشت Sowing date	2	3297.91**	534.69**	148.51**	93.85**	29.72**	157.6**	71.17**	521.87*
خطا Error a	4	198.07	6.44	5.49	4.19	0.38	6.7	5.5	52.56
محلول‌پاشی Foliar application	2	126.13^{ns}	258.02**	166.26**	28.91**	15.94**	187**	49.20**	138.61**
رقم Cultivar	1	2.67^{ns}	21.41**	30.38**	6.69*	2.48**	22.5**	4.73**	11.59^{ns}
تاریخ کاشت × محلول‌پاشی Sowing date× Foliar application	4	92.57^{ns}	37.07**	13.19**	3.24^{ns}	0.86**	20.3**	3.54**	16.06*
تاریخ کاشت ×رقم Sowing date × Cultivar	2	3.39^{ns}	2.02^{ns}	2.35^{ns}	0.52^{ns}	0.05^{ns}	3.01^{ns}	0.77^{ns}	7.19^{ns}
محلو ل‌پاشی ×رقم Foliar application × Cultivar	2	15.06^{ns}	10.57*	9.43*	6.24*	1.02**	13.5*	2.6**	18.21*
تاریخ کاشت ×محلول‌پاشی ×رقم Sowing date × Foliar application × Cultivar	4	6.11^{ns}	0.52^{ns}	0.53^{ns}	0.74^{ns}	0.03^{ns}	0.9^{ns}	0.6^{ns}	1.52^{ns}
خطا Error bc	30	55.93	2.37	2.48	1.65	0.08	2.8	0.52	6.37
ضریب تغییرات Coefficient variation (%)		1.8	4.4	4.4	9.2	5.5	6.0	5.1	7.0

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and ,** respectively, non- significant and significant at levels of 5% and 1%



شکل ۱- برهمکنش تاریخ کاشت و محلول‌پاشی بر تعداد دانه در سنبله گندم

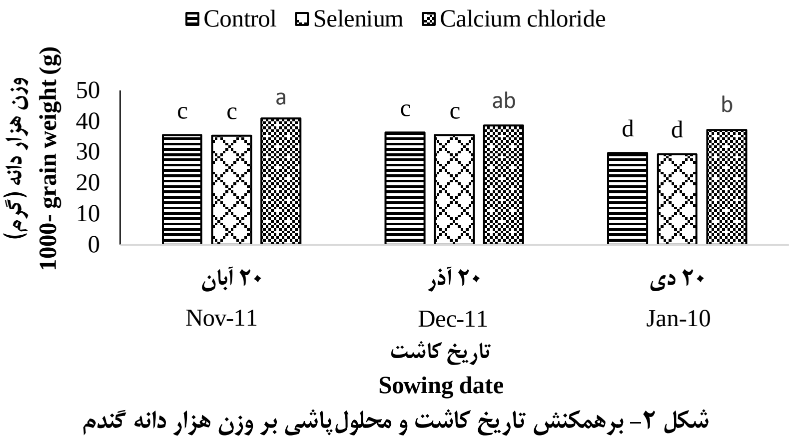
میانگین‌های با حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Figure 1- Interaction of sowing date and foliar application on number of grains per spike of wheat

The means with the same letter are not significantly different by Duncan test (p<0.05)

تعداد سنبلچه در سنبله

تجزیه واریانس داده‌های صفت تعداد سنبلچه در سنبله نشان داد اثر تاریخ کاشت و محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد و اثر رقم و برهمکنش محلول‌پاشی و رقم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد در زمان استفاده از تیمارهای شاهد و سلنیوم بین دو رقم اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد در حالی‌که در تیمار کلرید کلسیم بین دو رقم از لحاظ تعداد سنبلچه در سنبله تفاوت معنی‌دار بود. بیشترین (۱۶/۳) و کمترین (۱۲/۷) تعداد سنبلچه در سنبله به‌ترتیب در رقم چمران و تیمار کلرید کلسیم و رقم استار و تیمار سلنیوم به‌دست آمد (شکل ۳).



شکل ۲- برهمکنش تاریخ کاشت و محلول‌پاشی بر وزن هزار دانه گندم

میانگین‌های با حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

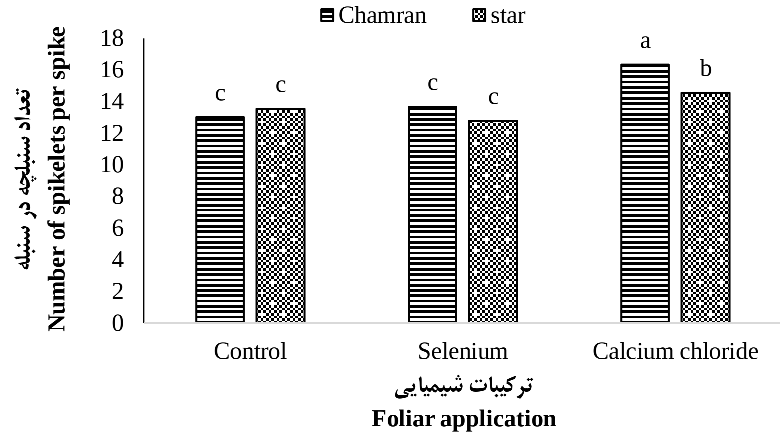
Figure 2- Interaction of sowing date and foliar application on 1000-grain weight of wheat

The means with the same letter are not significantly different by Duncan test (p<0.05)

عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های عملکرد دانه نشان داد اثر تاریخ کاشت، محلول‌پاشی و رقم بر عملکرد دانه معنی‌دار بود ($P\leq۰/۰۱$). همچنین برهمکنش تاریخ کاشت و محلول‌پاشی و برهمکنش محلول‌پاشی و رقم تأثیر معنی‌داری بر این صفت داشتند ($P\leq۰/۰۱$). در حالی‌که برهمکنش تاریخ کاشت و رقم بر عملکرد دانه غیر معنی‌دار بود (جدول ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین مشاهده شد در هر سه تاریخ کاشت تیمار کلرید کلسیم از لحاظ آماری با تیمارهای شاهد و سلنیوم اختلاف معنی‌داری نشان داد. به‌طوری‌که بالاترین عملکرد دانه (۶/۹۶ تن در هکتار) در زمانی‌که از کلرید کلسیم استفاده شده است به‌دست آمد. در تاریخ کاشت سوم اختلاف بین تیمارهای محلول‌پاشی محسوس‌تر بود به گونه‌ای که در این

تاریخ کاشت عملکرد دانه در تیمار شاهد ۴۹/۳ درصد و در تیمار محلول‌پاشی با سلنیوم ۴۹/۹ درصد نسبت به تاریخ کاشت ۲۰ آبان کاهش نشان داد در حالی‌که در تیمار محلول‌پاشی با کلرید کلسیم کاهش عملکرد ۲۳/۸ درصد بود (شکل ۴). با توجه به نتایج برهمکنش محلول‌پاشی و رقم، در زمان استفاده از تیمارهای محلول‌پاشی شاهد و سلنیوم از لحاظ عملکرد دانه بین دو رقم اختلاف غیرمعنی دار بود در حالی‌که در مورد کلرید کلسیم بین دو رقم تفاوت معنی‌دار وجود داشت. عملکرد رقم چمران در تیمار کلرید کلسیم ۶/۷۳ و در رقم استار ۵/۷۵ تن در هکتار بود (شکل ۵).



شکل ۳- برهمکنش رقم و محلول‌پاشی بر تعداد سنبلچه در سنبله گندم

میانگین‌های با حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Figure 3- Interaction of cultivar and foliar application on number of spikelets per spike of wheat

The means with the same letter are not significantly different by Duncan test (p<0.05)

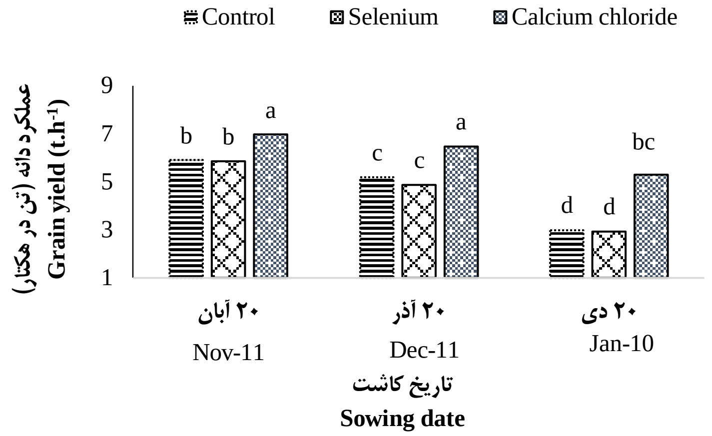
دوره پر شدن دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای تاریخ کاشت، محلول‌پاشی، رقم و برهمکنش تاریخ کاشت و محلول‌پاشی در سطح احتمال ۱٪ و برهمکنش محلول‌پاشی و رقم در سطح احتمال ۵٪ بر صفت دوره پر شدن دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین در هر سه تاریخ کاشت، در زمانی که از کلرید کلسیم به‌عنوان محلول‌پاشی استفاده شد دوره پر شدن دانه نسبت به تیمارهای شاهد و سلنیوم طولانی‌تر بود. به‌طوری‌که میانگین دوره پر شدن دانه در زمان استفاده از کلرید کلسیم در تاریخ کاشت اول، ۴ روز، در تاریخ کاشت دوم و سوم، ۶/۵ روز بیشتر از تیمار شاهد بود. در تاریخ کاشت دوم، بیشترین دوره پر شدن دانه (۳۶/۳ روز) در تیمار کلرید کلسیم و کمترین آن (۳۰/۱۷ روز) در تیمار سلنیوم مشاهده گردید (شکل ۶).

عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت

اثر تاریخ کاشت، محلول‌پاشی، ارقام، اثرات متقابل تاریخ کاشت و محلول‌پاشی و محلول‌پاشی و رقم بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار ($P\leq۰/۰۱$) بود (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با تأخیر در تاریخ کاشت عملکرد بیولوژیک به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. با توجه به نتایج مقایسه میانگین مشخص شد که در تاریخ کاشت اول بین تیمارهای شاهد و سلنیوم اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد در حالی‌که تیمار محلول‌پاشی با کلرید کلسیم با تیمارهای شاهد و سلنیوم تفاوت معنی‌دار بود. در مورد استفاده از کلرید کلسیم به‌عنوان محلول‌پاشی بین تاریخ کاشت‌های دوم و سوم اختلاف معنی‌داری دیده نشد (شکل ۷).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های شاخص برداشت (جدول ۳) نیز نشان داد که بین تیمارهای مربوط به محلول‌پاشی اختلاف معنی‌دار ($P\leq۰/۰۱$) و بین تیمارهای تاریخ کاشت، اثرات متقابل تاریخ کاشت و محلول‌پاشی و محلول‌پاشی و رقم اختلاف معنی‌دار ($P\leq۰/۰۵$) بود. با توجه به نتایج مقایسه میانگین در دو تاریخ کاشت اول و دوم بین تیمارهای محلول‌پاشی از نظر شاخص برداشت اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد در حالی‌که در تاریخ کاشت سوم بین تیمار کلرید کلسیم و تیمارهای شاهد و سلنیوم از لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار بود. در بررسی برهمکنش رقم و محلول‌پاشی در تیمارهای شاهد و سلنیوم بین ارقام اختلاف غیر معنی‌دار بود، در حالی‌که در زمان استفاده از کلرید کلسیم برای محلول‌پاشی بین دو رقم اختلاف معنی‌دار وجود داشت که بیشترین شاخص برداشت (۴۰/۸۲ درصد) در رقم چمران و کمترین آن (۳۷/۶۹ درصد) در رقم استار به‌دست آمد (شکل ۸).

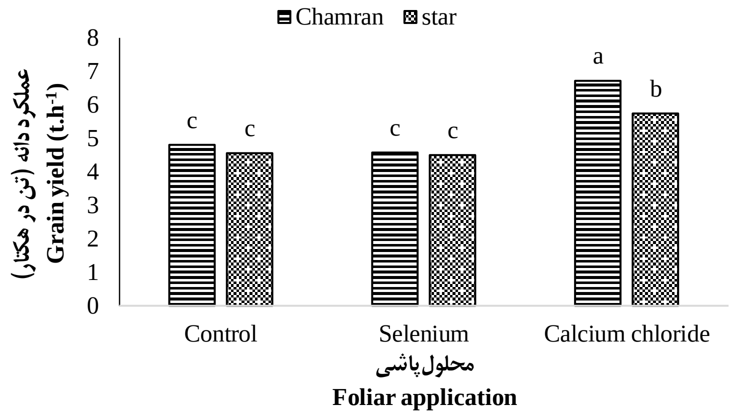


شکل ٤- برهمکنش تاریخ کاشت و محلول‌پاشی بر عملکر دانه گندم

میانگین‌های با حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Figure 4- Interaction of sowing date and foliar application on grain yield of wheat

The means with the same letter are not significantly different by Duncan test ($p<0.05$)

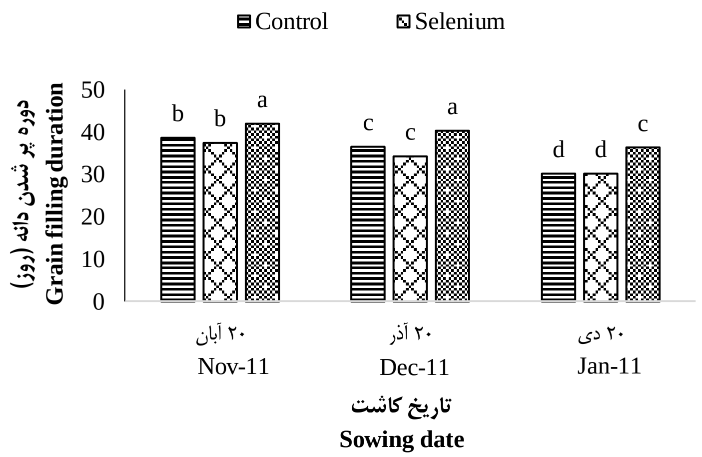


شکل ٥- برهمکنش رقم و محلول‌پاشی بر عملکرد دانه گندم

میانگین‌های با حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Figure 5- Interaction of cultivar and foliar application on grain yield of wheat

The means with the same letter are not significantly different by Duncan test ($p<0.05$)

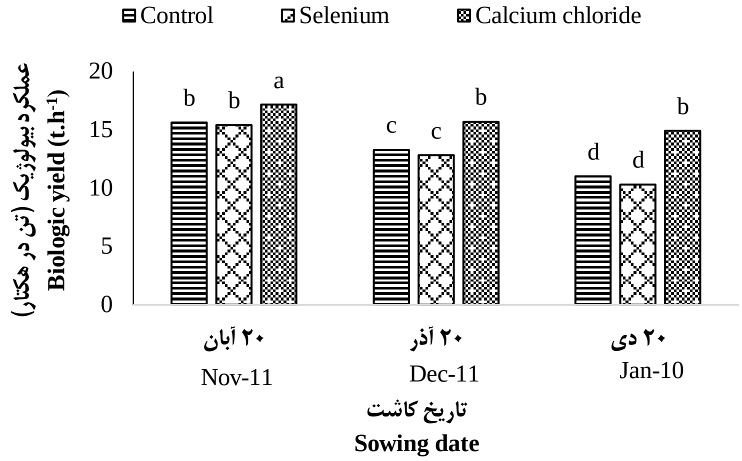


شکل ٦- برهمکنش تاریخ کاشت و محلول‌پاشی بر دوره پر شدن دانه گندم

میانگین‌های با حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Figure 6- Interaction of sowing date and foliar application on grain filling duration of wheat

The means with the same letter are not significantly different by Duncan test ($p<0.05$)

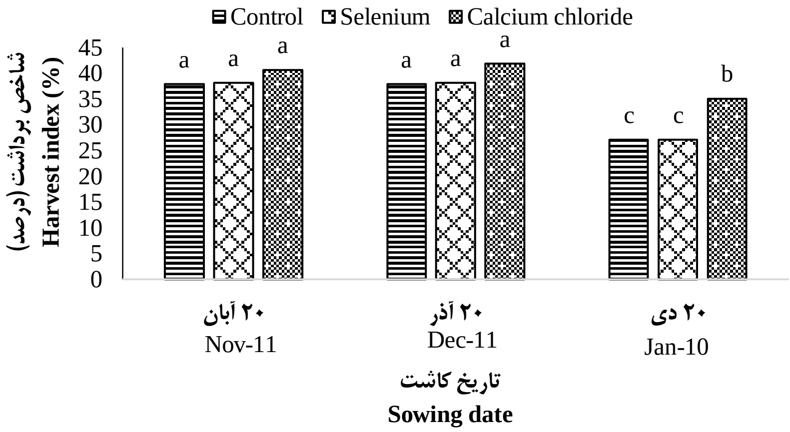


شکل ۷- برهمکنش تاریخ کاشت و محلول‌پاشی بر عملکرد بیولوژیک گندم

میانگین‌های با حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Figure 7- Interaction of sowing date and foliar application on biologic yield of wheat

The means with the same letter are not significantly different by Duncan test ($p<0.05$)



شکل ۸- برهمکنش تاریخ کاشت و محلول‌پاشی بر شاخص برداشت گندم

میانگین‌های با حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Figure 8- Interaction of sowing date and foliar application on harvest index of wheat

The means with the same letter are not significantly different by Duncan test ($p<0.05$)

در استان خوزستان، گندم با وجود شرایط آب و هوایی مناسب، در فصل پاییز و زمستان رشد رویشی خوبی داشته و پتانسیل عملکرد آن بالاست، ولی با افزایش ناگهانی دما در مراحل گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیک با تنش گرمای انتهای فصل رشد مواجه می‌شود و عملکرد آن کاهش می‌یابد. نتایج نشان دادکه در شرایط تنش گرمای انتهای فصل رشد گندم در اهواز، صفات تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت به‌طور معنی‌داری نسبت به تاریخ کاشت اول (تاریخ کاشت معمول منطقه) کاهش یافتند و محلول‌پاشی کلرید کلسیم دو هفته قبل از گلدهی سبب بهبود این صفات گردید. با توجه به نتایج به‌دست آمده در تاریخ کاشت سوم، بیشترین (۳۶) و کمترین (۲۵) تعداد دانه در سنبله به‌ترتیب در تیمارهای محلول‌پاشی با کلریدکلسیم و شاهد به‌دست آمد به‌طوری‌که در زمان استفاده از کلرید کلسیم برای محلول‌پاشی در تاریخ کشت سوم، تعداد دانه در سنبله نسبت به تاریخ کاشت ۲۰ آبان تنها ۱۲ درصد کاهش یافت در حالی‌که در تیمارهای شاهد و سلنیوم تعداد دانه در سنبله ۳۶ درصد کاهش یافت (شکل ۱). بیشترین تعداد دانه در سنبله (۴۰) در رقم چمران و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم و کمترین تعداد دانه در سنبله (۳۲) در ارقام چمران و استار در زمانی که از تیمارهای شاهد و سلنیوم برای محلول‌پاشی استفاده شد، به‌دست آمد. تعداد دانه کمتر در سنبله نشانه تأثیر تنش گرما بر گیاه و کاهش باروری دانه‌ها به دلیل عدم تلقیح مناسب و کمبود مواد فتوسنتزی کافی و رقابت میان دانه‌ها برای جذب مواد غذایی می‌باشد. نتایج

نشان داد که محلول‌پاشی کلرید کلسیم در این شرایط، سبب بهبود باروری دانه‌ها و در نتیجه تعداد دانه در هر سنبله شد. درجه حرارت بالا انتقال کربوهیدرات به داخل بساک را متوقف می‌نماید و از این رو نمو دانه گرده را در این شرایط مختل کرده و باعث افزایش مرگ و میر دانه‌های گرده می‌شود (Zhang *et al.*, 2012). در مطالعه‌ای که توسط هیرات و خورانا (Hairat and Khurana, 2015) انجام شده بود مشخص شد که کاربرد کلسیم قبل از تنش گرما می‌تواند سطح آسیب را کاهش دهد و سرعت بازیابی اندام‌ها را پس از تنش گرما افزایش دهد. در مطالعه‌ای که توسط اسدی نسب و همکاران (Asadi Nasab *et al.*, 2019) بر روی گندم صورت گرفت تعداد دانه در سنبله در تیمار محلول‌پاشی ۱۰ میلی‌مولار کلرید کلسیم در شرایط تنش گرما نسبت به تیمار شاهد ۲۲/۷۶ درصد افزایش یافت. همچنین این محققین دریافتند محلول‌پاشی ۱۰ میلی‌مولار کلرید کلسیم در زمان دو هفته قبل از گلدهی در شرایط تنش گرما سبب بهبود باروی دانه‌ها و در نتیجه تعداد دانه در هر سنبله شد. نجاتا و همکاران (Nejata *et al.*, 2009) گزارش دادند کاربرد ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم، تعداد دانه در سنبله را نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داد. همچنین در مطالعه تیموری و همکاران (Teimouri *et al.*, 2013) اثر مثبت محلول‌پاشی سلنیوم بر روی تعداد دانه در سنبله گندم در شرایط تنش خشکی گزارش شده است که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت ندارد. با توجه به نتایج برهمکنش تاریخ کاشت و محلول‌پاشی (شکل ۲)، در تاریخ کاشت سوم، بیشترین (۳۷ گرم) و کمترین (۲۹ گرم) وزن هزار دانه به‌ترتیب در تیمار محلول‌پاشی با کلرید کلسیم و تیمارهای شاهد و سلنیوم به‌دست آمد. در تاریخ کاشت اول، وزن هزار دانه در تیمارهای شاهد، سلنیوم و کلرید کلسیم نسبت به تیمارهای مشابه خود در تاریخ کاشت سوم به‌ترتیب ۱۶/۶، ۱۷/۱۴ و ۹/۷۵ درصد افزایش پیدا کرد. در تاریخ کاشت اول و دوم بین تیمارهای محلول‌پاشی شاهد و سلنیوم از لحاظ وزن هزار دانه اختلاف غیر معنی‌دار بود (شکل ۲). ممکن است کاربرد کلرید کلسیم از طریق بهبود انتقال تولیدات فتوسنتزی از برگ‌ها به دانه‌ها به‌عنوان مقصدهای فیزیولوژیک و همچنین افزایش دوره پر شدن دانه باعث افزایش وزن هزار دانه شده باشد. کمبود مواد فتوسنتزی به دلیل تنش گرما در زمان پر شدن دانه‌های گندم، وزن دانه را به دلیل اختلال در انتقال مواد به دانه‌ها کاهش می‌دهد. تنش گرما در مراحل اولیه پر شدن دانه موجب کاهش تعداد سلول‌های آندوسپرم و کاهش ظرفیت مقصد برای تجمع ماده خشک می‌شود. بنابراین، حتی اگر گیاه در ادامه در تولید مواد فتوسنتزی کمبودی نداشته باشد، محدودیت جذب منبع به دلیل کاهش اندازه مقصد در گیاه اتفاق می‌افتد و کاهش وزن دانه را در پی خواهد داشت (Nabipour *et al.*, 2011). کلسیم در بهبود گلدهی، بلوغ و انتقال کربوهیدرات‌ها از برگ‌ها به اندام‌های زایشی نقش دارد (Marschner, 1995). اسدی نسب و همکاران (AsadiNasab *et al.*, 2019) بیان کردند وزن هزار دانه و وزن دانه در بوته در تیمار محلول‌پاشی ۱۰ میلی‌مولار کلرید کلسیم در زمان دو هفته قبل از گلدهی در شرایط تنش گرما نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۲۱/۹۲ و ۲۳/۰۷ درصد افزایش یافتند. نتایج برهمکنش تاریخ کاشت و محلول‌پاشی نشان داد با مصرف کلرید کلسیم، در تاریخ کشت اول عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد ۱۷ درصد افزایش یافت در حالی‌که بین تیمارهای شاهد و سلنیوم اختلاف معنی‌دار نبود. در تاریخ کاشت سوم، کاهش عملکرد نسبت به تاریخ کاشت اول در تیمار شاهد ۴۹/۳ درصد، تیمار سلنیوم ۴۹/۹ و تیمار کلرید کلسیم ۲۳/۸۵ درصد بود (شکل ۳). تنش گرمای انتهای فصل از یک طرف با تسریع در مراحل رشد و نمو و کاهش طول دوره رشد زایشی گیاه و از طرف دیگر با تأثیر منفی بر اندام‌های زایشی (قابلیت زنده ماندن دانه گرده و مادگی) و جلوگیری از باروری مطلوب باعث کاهش عملکرد دانه می‌گردد. مدرسی و همکاران (Modarresi *et al.*, 2010) و آل اوتیک (Al-Otayk, 2010) نیز نتایج مشابهی گزارش کرده‌اند. در گیاهان مختلف اثر کلرید کلسیم در کاهش اثرات مضر تنش‌های محیطی مختلف گزارش شده است (Shoresh *et al.*, 2011). با توجه به نتایج برهمکنش محلول‌پاشی و رقم، در زمان استفاده از تیمارهای محلول‌پاشی شاهد و سلنیوم از لحاظ عملکرد دانه بین دو رقم اختلاف غیرمعنی دار بود در حالی‌که در مورد کلرید کلسیم بین دو رقم تفاوت معنی‌دار وجود داشت. عملکرد رقم چمران در تیمار کلرید کلسیم ۶/۷۳ و در رقم استار ۵/۷۵ تن در هکتار بود (شکل ۵). در مطالعه‌ای که توسط هیرات و خورانا (Hairat and Khurana, 2015) بر روی ارقام مختلف گندم انجام شده بود مشخص گردید با کاربرد کلرید کلسیم وزن هزار دانه و عملکرد دانه به‌طور قابل‌توجهی افزایش پیدا کرده بودند. آن‌ها گزارش دادند که افزایش عملکرد در گیاهان تیمار شده با کلرید کلسیم می‌تواند به دلیل فعالیت فتوسنتزی بهتر در این شرایط باشد. چون استفاده از کلرید کلسیم باعث افزایش کارایی فتوسیستم دو شده و در نهایت عملکرد فتوسنتزی را بهبود می‌بخشد. در مطالعه تیموری و همکاران (Teimouri *et al.*, 2013) عملکرد دانه گندم در تیمار محلول‌پاشی با سلنیوم (۱۸ میلی‌گرم در لیتر) در شرایط تنش خشکی با تیمار شاهد اختلاف معنی‌دار نداشت در حالی‌که اختلاف عملکرد دانه در تیمار محلول‌پاشی با ۳۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم با تیمار شاهد معنی‌دار بود. سلنیوم به دلیل ویژگی‌های آنتی‌اکسیدان آن به‌ویژه در محیط‌های تحت تنش اثرات مثبتی بر رشد و توسعه گیاهان دارد (Nawaz *et al.*, 2015). کاربرد سلنیوم به‌وسیله افزایش آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی (Pandey *et al.*, 2014) و غیرآنزیمی (Saidi *et al.*, 2014) باعث کاهش خسارت گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر شد. محلول‌پاشی سلنیوم بر روی برگ گیاهان زراعی میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را افزایش داده و مقاومت به خشکی را بالا می‌برد (Dhillon, 2002). با توجه

به نتایج مقایسه میانگین در هر سه تاریخ کاشت، در زمانی‌که از کلرید کلسیم به‌عنوان محلول‌پاشی استفاده شد دوره پر شدن دانه نسبت به تیمارهای شاهد و سلنیوم طولانی‌تر بود. به طوری‌که میانگین دوره پر شدن دانه در زمان استفاده از کلرید کلسیم در تاریخ کاشت اول، ۴ روز، در تاریخ کاشت دوم و سوم، ۶/۵ روز بیشتر از تیمار شاهد بود. در تاریخ کاشت دوم، بیشترین دوره پر شدن دانه (۳۶/۳ روز) در تیمار کلرید کلسیم و کمترین آن (۳۰/۱۷ روز) در تیمار سلنیوم مشاهده گردید (شکل ۶). طولانی شدن دوره پر شدن دانه در زمان استفاده از کلرید کلسیم می‌تواند یکی از مهم‌ترین عواملی باشد که منجر به کاهش کمتر وزن هزار دانه و عملکرد دانه نسبت به بقیه تیمارها شده است. چون در این شرایط زمان کافی برای انجام فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد به دانه‌های در حال پر شدن وجود دارد. کشت دیر هنگام گندم باعث می‌شود دوره پر شدن دانه در معرض درجه حرارت بالا قرار گیرد (Pandey *et al*., 2014). مندال و همکاران (Mondal *et al*., 2016) نتایج مشابهی گزارش دادند. در مطالعه‌ای که توسط ما و همکاران (Ma *et al*., 2005) بر روی گندم صورت گرفت تعداد روز از کاشت تا رسیدگی در تیمار شاهد ۹۷ روز و در تیمار کلرید کلسیم ۱۱۳ روز بود. مصرف کلسیم تحت تنش خشکی می‌تواند رسیدگی گندم را به‌طور معنی‌داری به تأخیر بیندازد. همچنین مصرف کلسیم نه تنها تحمل گندم بهاره به تنش خشکی را افزایش می‌دهد بلکه پیری برگ‌ها را به تأخیر می‌اندازد (Ma *et al*., 2005). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با تأخیر در تاریخ کاشت عملکرد بیولوژیک به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. با توجه به نتایج مقایسه میانگین صفت عملکرد بیولوژیک، در تاریخ کاشت اول بین تیمارهای شاهد و سلنیوم اختلاف غیر معنی‌دار بود، در حالی‌که میان تیمار محلول‌پاشی با کلرید کلسیم با تیمارهای شاهد و سلنیوم تفاوت معنی‌دار بود. در مورد استفاده از کلرید کلسیم به‌عنوان محلول‌پاشی، بین تاریخ کاشت‌های دوم و سوم اختلاف معنی‌داری دیده نشد. با توجه به نتایج برهمکنش تاریخ کاشت و محلول‌پاشی، در تاریخ کاشت سوم، عملکرد بیولوژیک در تیمارهای محلول‌پاشی شاهد، سلنیوم و کلرید کلسیم نسبت به تاریخ کاشت اول در همان تیمارها به‌ترتیب ۳۱/۲۵، ۳۳/۳ و ۱۱/۷۶ درصد کاهش یافت (شکل ۷). با توجه به نتایج برهمکنش تاریخ کاشت و محلول‌پاشی در دو تاریخ کاشت اول و دوم بین تیمارهای محلول‌پاشی از نظر شاخص برداشت اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، در حالی‌که در تاریخ کاشت سوم بین تیمار کلرید کلسیم و تیمارهای شاهد و سلنیوم از لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار بود. در تاریخ کاشت سوم، در تیمار کلرید کلسیم شاخص برداشت ۱۳ درصد بیشتر از تیمارهای شاهد و سلنیوم بود. در بررسی برهمکنش رقم و محلول‌پاشی در تیمارهای شاهد و سلنیوم بین ارقام اختلاف غیر معنی‌دار بود در حالی‌که در زمان استفاده از کلرید کلسیم برای محلول‌پاشی بین دو رقم اختلاف معنی‌دار بود و بیشترین شاخص برداشت (۴۰/۸۲ درصد) در رقم چمران و کمترین آن (۳۷/۶۹ درصد) در رقم استار به‌دست آمد (شکل ۸). در مطالعه‌ای که توسط پراسد و همکاران (Prasad *et al*., 2011) انجام شده بود مشاهده کردند که در گندم رشد کرده تحت تنش گرما (۳۱ درجه سانتی‌گراد دمای روز و ۱۸ درجه دمای شب) تعداد دانه در سنبله ۵۰ درصد، وزن خشک کل ۲۰ درصد، عملکرد دانه ۳۹ درصد و شاخص برداشت ۲۴ درصد در مقایسه با درجه حرارت مطلوب (۲۴ درجه روز و ۱۴درجه سانتی‌گراد شب) کاهش پیدا کردند. درجه حرارت‌های بالا ممکن است از طریق تجزیه کلروفیل منجر به کاهش ظرفیت فتوسنتز شوند که این امر انتقال مواد فتوسنتزی (انتقال کربوهیدرات) از اندام‌های هوایی سبز (منبع) به دانه (مقصد) را مختل کرده و باعث مرگ و میر بالای دانه‌های گرده و در نهایت کاهش عملکر دانه می‌شوند. کلسیم کوعامل آنزیم‌های آمیلاز و ATP-ase بوده و در پایداری و مقاومت دیواره سلولی و فعالیت طبیعی بسته شدن روزنه‌ها مؤثر است. این عنصر به فعالیت اکسین کمک کرده و در تقسیم سلولی و طویل شدن سلول‌ها، جوانه‌زنی و رشد لوله گرده تأثیرگذار است (Fageria, 2009). اگرچه نقش کلسیم در تحمل به تنش گرما دقیقاً مشخص نشده است، ولی برخی مطالعات بیان می‌کنند که کلسیم ممکن است در انتقال پیام (MC Ainsh *et al*.,1996) و بیان ژن (Trofimova *et al*., 1999) تحت تنش گرما دخیل باشد. دیگر محققین دریافتند که کلسیم فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را افزایش داده و پراکسیداسیون لیپیدهای غشاءهای سلولی را کاهش می‌دهد (Gong *et al*., 1998). محمد و همکاران (Muhammad *et al*., 2015) گزارش دادند محلول‌پاشی چهار میلی‌گرم در لیتر سلنیوم در دو رقم گندم تحت تنش گرما تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه را به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. اگرچه در مطالعات زیادی به نقش محلول‌پاشی سلنیوم در کاهش اثرات منفی تنش گرما و خشکی در گندم اشاره شده است ولی در پژوهش حاضر محلول‌پاشی چهار میلی‌گرم در لیتر تأثیر معنی‌داری بر صفات مورد بررسی نداشت و ممکن است این امر متأثر از زمان محلول‌پاشی و یا میزان دوز مصرفی (کمیا زیاد بودن دوز) در این پژوهش باشد.

توجیه اقتصادی

با توجه به این‌که سطح زیر کشت گندم در استان خوزستان ۳۸۰۰۰۰ هکتار می‌باشد اگر با فرض این‌که هر سال تقریباً ده درصد (۳۸۰۰۰ هکتار) سطح زیر کشت گندم به دلیل محدودیت‌های زراعی و آب و هوایی در دی (کاشت دیرهنگام) کشت گردد و با توجه به این‌که اختلاف عملکرد بین تیمار شاهد (۳ تن در هکتار) و تیمار کلرید کلسیم (۵/۳ تن در هکتار) در تاریخ کشت سوم ۲/۳ تن در هکتار می‌باشد. بنابراین سود ناخالص ناشی از مصرف کلرید کلسیم برای محلول‌پاشی تقریباً ۱۱۳ میلیارد تومان می‌باشد. از آن‌جایی‌که

هزینه اجرای این تحقیق ۵۳ میلیارد تومان برآورد شده است (هزینه یک کیلوگرم کلرید کلسیم ۹۰ هزار تومان و هزینه یک هکتار محلول‌پاشی ۵۰ هزار تومان در نظر گرفته شده است) که با کسر سود ناخالص از هزینه‌ها، این طرح می‌تواند تقریباً ۶۰ میلیارد تومان برای کشاورزان استان سود داشته باشد. لازم به ذکر می‌باشد با توجه به این‌که، این یک طرح تحقیقاتی بوده و احتمال خطا در آن نسبت به کاشت در سطح وسیع کمتر می‌باشد لذا در صورتی‌که نصف این مبلغ (۳۰ میلیارد تومان) برای کشاورزان استان سود داشته باشد اجرای این طرح می‌تواند از لحاظ اقتصادی توجیه‌کننده باشد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده در تاریخ کشت سوم (۲۰ دی) به دلیل محدودیت رشد رویشی و هم‌زمانی گرده‌افشانی با دمای بالای محیطی صفات مورد بررسی در این تحقیق کاهش پیدا کردند. به‌طوری‌که میزان عملکرد دانه در اثر مواجه شدن گیاه با گرمای آخر فصل (تاریخ کشت سوم) در تیمار شاهد ۴۹/۳ درصد، در تیمار محلول‌پاشی با سلنیوم ۴۹/۵ درصد و تیمار محلول‌پاشی با کلرید کلسیم ۲۱ درصد کاهش یافت. همچنین در زمان استفاده از کلرید کلسیم برای محلول‌پاشی در تاریخ کشت سوم تعداد دانه در سنبله نسبت به تاریخ کاشت اول تنها ۱۲ درصد کاهش یافت در حالی‌که در تیمارهای شاهد و سلنیوم تعداد دانه در سنبله ۳۶ درصد کاهش یافت. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که محلول‌پاشی کلرید کلسیم می‌تواند از طریق کاهش اثرات منفی تنش گرما در زمان گرده‌افشانی، افزایش دوره پر شدن دانه و وزن هزار دانه نقش مهمی در کاهش اثرات تنش گرمای آخر فصل در گندم داشته باشد از طرف دیگر از آن‌جایی‌که نتایج به‌دست آمده با محلول‌پاشی سلنیوم با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نداشتند لذا این امر می‌تواند به دلیل کم یا زیاد بودن دوز مصرفی در این تحقیق باشد.

References

1. Abdoli, M., Saeidi, M., Jalali-Honarmand, S., Mansourifar, S., and Ghobadi, M. E. 2013. Investigation of some physiological and biochemical traits and their relationship with yield and its components in advanced bread wheat cultivars under post-pollinated water stress conditions. Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences 6 (1): 63-47. (in Persian).
2. Al-Otayk, S.M. 2010. Performance of yield and stability of wheat genotypes under high stress environments of the central region of Saudi Arabia. Environmental and Arid Land Agriculture. Sciences 21: 81-92.
3. Asadinasab, N., Nabipour, M., Roshanfekr, H., and Rahnama Ghahfarokhi, A. 2019. Effect of Calcium Chloride Application Time on Reducing the Effects of Heat Exhaustion on Yield and Yield Components of Wheat in Ahvaz. Iranian Journal of Field Crops Research 16 (4): 833-846.
4. Brestic, M., Zivcak, M., Olsovska, K., Kalaji, H. M., Shao, H., and Hakeem, K. R. 2014. Heat signaling and stress responses in photosynthesis. Plant signaling: Understanding the molecular crosstalk. Springer India, New Delhi, 241-256.
5. Dhillon K. S. 2002. Selenium enrichment the soil plant system for a seleniferous region of northwest India. Journal of Hydrology 272: 120-130.
6. Dupont, F., and Altenbach, S. 2003. Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. Journal of Cereal Science 38: 133-146.
7. Fageria, N. K. 2009. The use of nutrients in crop plants. Oxford University Press.
8. FAO. 2017. FAOSTA. http://www.fao.org/faostat/en/#home
9. Farooq, M., Bramley, H., Palta, J. A., and Siddique, K. H. M. 2011. Heat stress in wheat during reproductive and grain-filling phases. Critical Reviews in Plant Sciences 30: 1-17.
10. Gong, M., Vander Liut, A. H., Knight, M. R., and Trewavas, A. J. 1998. Heat-shock-induced changes in intracellular Ca^{2+} level in tobacco seedlings in relation to thermos tolerance. Plant Physiology 116: 429-437.
11. Hairat, S., and Khurana, P. 2015. Improving photosynthetic responses during recovery from heat treatments with brassinosteroid and calcium chloride in Indian bread wheat cultivars. American Journal of Plant Sciences 6: 1827-1849.
12. Ma, R., Zhang, M., Li, B., Du, G., Wang, J., and Chen, J. 2005. The effects of exogenous Ca^{2+} on endogenous polyamine levels and drought-resistant traits of spring wheat grown under arid conditions. Journal of Arid Environments 39: 177-190.
13. Malik, J. A., Kumar, S., Thakur, P., Sharma, S., Kaur, N., Kaur, R., Pathania, D., Bhandhari, K., Kaushal, N., Singh, K., Srivastava, A., and Nayyar, H. 2011. Promotion of growth in mung bean (*Phaseolus aureus Roxb*.) by selenium is associated with stimulation of carbohydrate metabolism. Biological Trace Element Research 143: 530-539.
14. Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London, UK.
15. McAinsh, M. R., Clayton, H., Mansfield, T. A., and Hertherington, A. M. 1996. Changes in stomatal behavior and guard cell cytosolic free calcium in response to oxidative stress. Plant Physiology 111: 1031-1042.

16. Modarresi, M., Mohammadi, V., Zali, A., and Mardi, M. 2010. Response of wheat yield and yield related traits to high temperature. Cereal Research 38: 23-31.
17. Mondal, S., Singh, R. P., Mason, E. R., Huerta-Espino, J., Autrique, E., and Joshi, A. K. 2016.Grain yield: adaptation and progress in breeding for early-maturing and heat-tolerant wheat lines in South Asia. Field Crops Research 192: 78-85.
18. Mosavi, S. H. 2014. Positive agricultural and food trade model with ad valorem tariffs. Journal Agriculture Science 16: 1481-1492.
19. Muhammad, I., Iqbal, H., Hena, L., Ashraf, M. A., Rizwan, R., and Rahman, R. 2015. Exogenously applied selenium reduces oxidative stress and induces heat tolerance in spring wheat. Plant Physiology and Biochemistry P: 32.
20. Nabipour, M., Atlasi Pak, V., Abdeshahian, M., Hasibi, P., and Saeedipour, S. 2011. Crop responses and adaptations to temperature stress (Translation). Shahid Chamran University of Ahvaz Publications. P: 380. (in Persian).
21. Nawaz, F., Ashraf, M. Y., Ahmad, R., Waraich, E. A., Shabbir, R. N., and Bukhari, M. A. 2015. Supplemental selenium improves wheat grain yield and quality through alterations in biochemical processes under normal and water deficit conditions. Food Chemistry 175: 350-357.
22. Nejata, F., Dadniya, M., Shirzadi, M. H., and Lak, S. 2009. Effects of drought stress and Selenium application on yield and yield components of two maize cultivars. Plant Ecophysiology 2: 95-102.
23. Pandey, G. C., Mamrutha, H. M., Tiwari, R., Sareen, S., Bhatia, S., Siwach, P., Tiwari, V., and Sharma, I. 2014. Physiological traits associated with heat tolerance bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Physiology and Molecular Biology of Plants 21: 93-99.
24. Prasad P. V. V., Isipati, S. R., Momčilović, I., and Ristic, Z. 2011. Independent and combined effects of high temperature and drought stress during grain filling on plant yield and chloroplast EF-Tu Expression in spring wheat. Journal of Agronomy Crop Science 197: 430-441.
25. Rahman, M. A., Chikushi, J., Yoshida, S., and Karim, A. J. M. S. 2009. Growth and yield components of wheat genotypes exposed to high temperature stress under control environment. Bangladesh Journal Agriculture Research 34: 361-372.
26. Saidi, I., Chtourou, Y., and Djebali, W. 2014. Selenium alleviates cadmium toxicity by preventing oxidative stress in sunflower (*Helianthus annuus*) seedlings. Journal Plant Physiology 171: 85-91.
27. Sasan, T., Hasanpour, J., and Tajali, A. A. 2013. Effect of Selenium spraying on yield and growth indices of Wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought stress condition. International journal of Advanced Biological and Biomedical Research 2 (6): 2091-2103.
28. Shoresh, M., Spivak, M., and Bernstein, N. 2011. Involvement of calcium mediated effects on ROS metabolism in the regulation of growth improvement under salinity. Free Radical Biologic 51: 1221-1234.
29. Timothy, P. 2001. Effect of selected selenium status: Implications of oxidative stress. Biochemical Pharmacology 62: 273-281.
30. Trofimova, M. S., Andreev, I. M., and Kuznestsov, V. V. 1999. Calcium is involved in regulation of the synthesis of HSPs in suspension-cultured sugar beet cells under hyperthermia. Journal of Physiology Plant 105: 67-73.
31. Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., and Foolad, M. R. 2007. Heat tolerance in plants: An overview. Environmental and Experimental Botany 61: 199-223.
32. Zadoks, J. C., Chang, T. T., and Konzak, C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research 14: 415-421.
33. Zhang, H., Xua, C., He, Y., Zong, J., Yang, X., Si, H., Sun, Z., Hud, J., Liang, W., and Zhang, D. 2012. Mutation in CSA creates a new photoperiod-sensitive genic male sterile line applicable for hybrid rice seed production. Proceeding of the National Academy of Science of the United State of America 110: 76-81.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 4, Winter. 2020, p. 617-629

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸، ص. ۶۲۹-۶۱۷

Study of the Effect of Calcium Chloride and Selenium on High Temperature Resistance Wheat (*Triticum aestivum* L.)

H. Noroozi[1], M. Nabipour[2]*, A. Rahnama Ghahfarokhi[3], H. Roshanfekr[3]

Received: 01-03-2019
Accepted: 01-09-2019

Introduction: The negative effects of heat stress on plants are seriously problems, which often cause damage to crops throughout the world. High temperature driven degradation of chlorophyll reduces photosynthetic capacity. Moreover, impaired transport of photosynthate (carbohydrate mobilization) from green organs (source) to anther tissues (sink) leads to high pollen mortality and thereby decreases grain yield. In environmental stress, plant tolerance should be increased. Therefore some chemical compounds are used to improve the metabolic activity of the plant, which calcium chloride is one of them. For this purpose, the present experiment was conducted to investigate the effect of calcium chloride and selenium foliar application on reducing the effects of heat stress on yield and yield components of two wheat cultivars.

Materials and Methods: This experiment was carried out as a split factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications at the experimental farm of Shahid Chamran University of Ahvaz during growing season 2017-2018. Three factors were investigated in this experiment. First factor including three planting dates (Nov 11, Dec 11, and Jan 10) was allocated in main plot. The second factor was three solution types (foliar application of tap water (control), foliar application of selenium (4 mg L^{-1}), and foliar application of calcium chloride (10 mM) and third factor was two wheat cultivars (Chamran and Star) which were assigned in sub plots.

Results and Discussion: According to the results of third planting date, the highest number of grains per spike (36) was obtained in the foliar application of calcium chloride and the least number of seeds per spike (25) was observed in control and selenium foliar application treatments. In calcium chloride foliar application in third planting date, the number of grains per spike decreased by 12% compared to the first planting date but in the control and selenium foliar application treatments, the number of grains per spike decreased by 36%. In the third planting date, the difference between treatments was more evident in grain yield. So, in this planting date, the decrease in grain yield compared to the first planting date was 49.3% and 49.9% in the control and selenium foliar application treatments, while in calcium chloride foliar application, yield reduction was 23.8%. In all three planting dates, when calcium chloride was used as foliar application, the grain filling duration was longer than treatments of control and selenium foliar application. Grain filling duration was prolonged when calcium chloride applied. This could be one of the most important factors that resulted in lower 1000 grain weight and grain yield than the other treatments. While in this condition, there is sufficient time to carry out photosynthesis and transfer the material to the filling grains. Finally, it can be concluded that the calcium chloride application can have a significant effect on reduction the effects of last season's heat stress on wheat by reducing the negative effects of heat stress during pollination, increasing the grain filling period and 1000 grain weight. The number of smaller seeds per spike indicates the effect of heat stress on the plant and reduced fertility of the seeds due to lack of proper inoculation and lack of sufficient photosynthetic material and the competition between the seeds for absorption of food. Increasing yield in calcium chloride treated plants can be due to better photosynthetic activity in these conditions. Because the use of calcium chloride increases the efficiency of the photosystem II and ultimately improves the function of photosynthesis.

Conclusions: Calcium chloride may increase the 1000 grain weight by improving the transfer of photosynthetic products from leaves to seeds as physiological reservoirs, as well as increased grain filling duration. Therefore, it can be concluded that the calcium chloride application can have a significant effect on reducing the effects of last-season heat stress on wheat by reducing the negative effects of heat stress during pollination, increasing the grain filling duration and 1000 grain weight.

Keywords: Calcium chloride, Grain yield, Number of grains per spike, Planting date, Selenium

1- PhD Student of Crop Physiology, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
2- Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
3- Associate Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
(*- Corresponding Author Email: m.nabipour@scu.ac.ir)